作物病害防治資材的研發與應用

黃鴻章 吳明哲

行政院農業委員會農業試驗所

摘　要

廿一世紀的農業己由過去注重化學農藥和化學肥料的經營模式改變為減少使用或不使用化學農藥和化學肥料的經營模式。這種注重環境保護的經營理念，迫使很多國家都在尋找不使用化學農藥的新耕種方法，其中一項就是提倡有機作物栽培。在有機作物栽培的制度下，開發有效的非農藥病害防治技術有其必要性和重要性。許多文獻報告顯示健康種子，抗病品種，輪作栽培和生物防治等非農藥病害防治方法都具有開發和應用的價值。但是這些技術的研發和應用可能遭遇到的瓶頸，往往會使研發技術失敗或無法推展。例如輪作試驗和抗病育種等都是屬於長期性的研究，如果沒有政府的主導和支持，一定無法順利執行。又如把基因轉殖技術應用在作物抗病育種是一極有前景的新技術，但是有關這方面的研發和應用尚無法被農民和社會大眾接受。同樣的，在環境保護的經營理念下，作物病害生物防治也被認為是一種極有應用潛能的方法。過去二、三十年來，雖然有一些生物防治菌被開發成為商業產品，但是它們的應用仍然不普遍。由此可見每一項非農藥病害防治技術的研發過程也一定要對該技術的風險詳細加以研究和評估，才能判斷該技術推廣應用的潛能。例如研發一生物防治劑，除了瞭解該製劑的防病效果之外，也要瞭解該產品對農業生態環境以及人畜安全等之影響。風險越小的技術，應用的可能性則越大。

前 言

作物病害的防治是農業生產體系中不可或缺的一環。自從 1930 年代有機汞殺菌劑發明之後，世界各國都專注於合成化學農藥（synthetic chemical pesticides）的開發與應用，並且不斷推出殺傷力強而且殘毒性高的農藥，藉以提升農業生產。例如 1930 年至 1970 年代，採用有機汞劑處理麥類種子，使得麥類黑穗病的危害減輕（Anonymous, 1974）。這種積極推廣化學農藥的趨勢，一直延伸到 1980 年代，環保意識抬頭，才逐漸緩和下來。在瑞典曾經發現鳥類因吃食有機汞劑處理過的種子而中毒死亡的案例（Kips, 1985）。顯然從 1970 年代起各國已開始相繼禁止使用有機汞劑，因為一旦有機汞劑殘毒進入食物鏈，就會影響人畜安全以及破壞生態環境。因此 Zadoks（1993）認

為作物生產和植物保護理念已由 1970-1980 年代的化學型（Chemism）轉變為環境型（Environmentalism）（Zadoks,1993）,同時他也倡議將 1990 年訂為環境型農業生產的開端。

現今廿一世紀的農業，由於環保的壓力，使得很多國家都在尋找不使用化學農藥的新耕種方法，其中一項就是有機作物栽培。雖然過去二、三十年間已經有很多人在大力提倡有機作物栽培，但是進展緩慢成效不顯。直到目前農業專家包括研究人員和推廣人員對有機農業的看法仍然是兩極化（Wheeler, 2008）。有人認為有機農業對環境保護、經濟成長、人畜安全以及生物多樣性等都有正面的影嚮（FAO, 2002; Mäder, et al., 2002; Lotter, 2003; Bengtsson, et al., 2001; O'Riordan and Cobb, 2001; Reganold, et al., 2001），但也有人認為有機農業不符合永續經營的理念，因為這種耕種方式使作物產量減低、生產成本增高，所以反而造成對土地使用上的壓力（Trewavas, 2001）。這些爭論突顯開發有機作物栽培技術的重要性。顯然的，非農藥病害防治方法已成為有機作物栽培中不可或缺的一環，但是這方面的技術開發與應用上的努力，尚顯不足。本文僅以數種非農藥病害防治方法如使用健康種子、種球或種苗，栽培抗病品種，輪作栽培和生物防治等為例，探討這些技術的研發與應用上可能面臨的瓶頸和必需注意的一些問題。

作物病害非農藥防治技術之研發

引起作物病害的病原種類很多，其中包括真菌（Fungi）、細菌（bacteria）、病毒或類病毒（virus or viroid）和線蟲（nematodes）等。作物病害的傳播方式也往往因病害與病原種類而異。例如有些植物病毒病必須依賴特定的媒介昆蟲來傳播，但是有些真菌病原孢子則可經由土壤、流水、空氣、農具、種子和人畜等途徑傳播。所以在研擬每一病害防治策畧時，要先瞭解該病害的基本生物特性和流行規律，才有可能進一步開發出有效的防治方法。茲就有關健康種子，抗病育種，輪作栽培和生物防治等四種非農藥病害防治方法之研發問題分別討論如下。

一、健康種子、種球或種苗（Pathogen-free seeds, bulbs or seedlings）

種子攜帶病原菌往往會造成幾種不良後果，其中包括降低種子發芽率、影響作物產量與品質、傳播植物病害、以及危害人畜安全與健康等。據估計世界上大約有百分之九十的糧食作物如水稻、麥類、豆類等都是以種子繁殖（Agarwal and Sinclair, 1987a），而這些作物當中又有很多種病害是經由種子傳播，使病害在苗圃或本田裏發生，造成農作物減產和品質下降等現象。又有些病原菌在罹病種子會產生毒素（toxin），致使人畜因誤食罹病種子而中

毒。例如花生黃麴菌（*Aspergillus flavus*）在受害種子上產生一種毒素叫做黃麴毒素（aflatoxin），如果豬、牛、羊、雞、鴨等吃了受污染的種子，往往會造成中毒，致使其臟器出現壞疽或硬化等現象（Agarwal and Sinclair, 1987a）。又如水稻穀粒遭受病原菌（*Penicillium islandicum*）侵染，米粒會變成黃色。動物吃食這種黃變米，往往會造成肝硬化，甚至引發死亡的後果（Agarwal and Sinclair, 1987b）。

經由罹病種子傳播的病害，除了在苗圃或本田裡蔓延之外，有些還可以透過農產品進出口的貿易途徑作跨國傳播。由於我國已加入世界貿易組織（World Trade Organization 或簡稱 WTO），農產品如水果、種子、種球等進出口日益頻繁，如果不加以留意種子或種苗所攜帶的病原菌，則會有自國外引進作物新病害的可能。例如苜蓿黃萎病（Verticillium wilt of alfalfa）從 1930 年代起已經在歐洲蔓延猖獗，但是在北美洲卻一直沒有發現，直到 1976 年才首次於美國西北部的苜蓿產區出現（Graham et al., 1977），隨後就成為美國和加拿大的苜蓿重要病害（Huang, 2003）。據推測本病可能是經由帶菌種子流入北美洲（Heale *et al*., 1979）和日本北海道（Sato, 1994）。

生產健康種子是防治種子傳播病害的首要策略。很多國家都設有種子生產專業區和種子認證（seed certification）制度。這種生產區大都選在比較偏僻隔離的地方，而且有嚴密的田間衛生管理規定，如清除雜草和去除弱小或畸型植株等。另外還要針對每一種病害訂定田間調查與種子認證標準，如果達不到這些特定標準，則該田的作物就不得做為留種之用。除了上述預防方法之外，種子病害檢測技術的開發也是非常重要。這種技術往往因作物病害和病原菌的種類而異。例如豆類粉紅種子病（pink seed disease）的病原細菌（*Erwinia rhapontici*）可利用它在馬鈴薯洋菜培養基（potato dextrose agar）上培養 2-3 天即有粉紅色素滲出的特性加以鑑定（Huang et al., 1990, 2003）。又苜蓿黃萎病的病原真菌（*Verticillium albo-atrum*）可用一種選擇性培養基（Christen, 1982）進行快速檢測。

種子病害檢測技術的研發除了準確易行之外還需要快速。例如世界上每一國家都訂有農產品進出口檢疫法規，規定輸入種子必需有植物健康證書（phytosanitary certificate），以防止引進高危險性的病原菌或新病原菌（Agarwal and Sinclair, 1987b）。檢驗進出口種子必需依賴快速檢測技術。所以除了上述選擇性培養基研發之外，還要研發新的快速檢測技術如分子探針的應用等。

二、抗病育種（Breeding for disease resistance）

栽培抗病品種是防治作物病害最有效和最具經濟重要性的方法。例如

1977 年在加拿大發生的菊花萎凋病（Fusarium wilt of chrysanthemum）是由尖鐮刀菌（*Fusarium oxysporum f. sp. chrysanthemi*）的新生理小種（physiological race）所引起（Huang et al., 1992）。經由品種抗病性鑑定試驗，成功地篩選出最具抗病性和經濟重要性的菊花品種或品系，提供給農民栽培應用（Huang et al., 1993），使這一新病害得以有效防治。苜蓿黃萎病自從 1976 年在美國首次發現後，很快就成為美國和加拿大苜蓿作物最重要的病害。從 1981 年起，加拿大農業部的苜蓿育種計劃育成了三個抗黃萎病的苜蓿新品種，包括 Barrier（Hanna and Huang, 1987）、AC Blue J（Acharya et al., 1995）及 AC Longview（Acharya et al., 2000）。這些新品種不但抗病而且產量高（Huang et al., 1994）。據估計在加拿大西部栽培抗黃萎病的苜蓿品種，每年大約可增加兩千七百萬元（加幣）的經濟效益（Smith et al., 1995; Acharya and Huang, 2003）。

抗病育種的工作所面臨的挑戰是尋找抗病基因問題。很多種作物病害都因為找不到抗病基因而使抗病育種的工作無法進行。另一種情況是由於抗病品種的大量推廣栽培，破使病原菌透過基因突變等方法，改變它們的遺傳性狀，而產生新的生理小種，使該抗病品種變成感病品種。小麥銹病菌生理小種的出現就是一個很好的例子。如此一來，抗病育種就成為一項長期性的工作了。大部份的作物病害，如果應用傳统的抗病育種技術，大約需 5-10 年的時間才能育成一個抗病、豐產和優質的新品種。如果應用基因轉殖技術，這個抗病育種時間有可能大大縮短，只是這種新技術在有機作物栽培體系中，目前仍然無法被接受。

三、輪作栽培（Crop rotation）

輪作是以數種作物，按照特定次序輪流栽植於同一塊田的一種耕種制度。有時輪作次序尚且包括休耕（fallow）在內，期以保持地力。過去很多輪作試驗都是以提高農作物產量和改善土壤肥力和理化性質為主要目的，卻很少有探討輪作對作物病害發生和防治的影響。一個完善的輪作制度不但要能夠維持地力，增進作物生長和提高產量，而且還要能夠減輕作物病害。

在日本北海道北見農業試驗所（Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station）有一項長期作物栽培試驗，從 1959 年到 2000 年總共進行了 41 年。這一塊試驗田裡一共有七種不同處理，包括休耕（地上無作物、無雜草）、連作（每年栽培同一種作物）、二年輪作（燕麥、甜菜）、三年輪作（大豆、甜菜、燕麥）、四年輪作（馬鈴薯、甜菜、燕麥、大豆）、五年輪作（甜菜、燕麥、冬小麥、紅三葉草、馬鈴薯）以及六年輪作（馬鈴薯、甜菜、燕麥、菜豆、冬小麥、紅三葉草）等（Huang et al., 2002）。於 1994 觀察此輪作田發現菜豆在連作區與六年輪作區生長差異極大。連作區的菜豆植株矮

化，下位葉萎黃，而輪作區的菜豆植株高大，生長茂盛，並且無下位葉萎黃的現象。該年的菜豆種子收穫量在六年輪作區為每公頃 2700 公斤，而在連作區為每公頃僅 945 公斤，顯示出這一年連作所造成的菜豆產量損失高達 65%。又在 1989-2000 的十二年當中，每年因連作所造成的菜豆產量損失平均高達 59%（Huang et al., 2002）。進一步的土壤分析發現連作區菜豆萎黃是因猝倒病菌（*Pythium* spp.）危害所引起，而且此一病菌也能夠危害甜菜。由此可見菜豆不宜與甜菜輪作。又在芬蘭的研究發現用豆科植物與小麥輪作可增加小麥的產量，提高小麥粗蛋白質含量，改良土壤團粒結構，提高土壤中氮肥含量以及減少小麥根部病害等（Karvonen, 1993）。在加拿大的研究也發現用豆科作物（如扁豆）與小麥輪作可以提高小麥產量和土壤含氮量（Wright, 1990; Campbell et al., 1992; Biederbeck et al., 1998）。上述這些案例可以看出以豆科作物進行輪作栽培，除了可以提高豆科作物自身的產量（Huang et al., 2002）之外，還可以提高後作（如小麥等穀類作物）的收穫量。然而有關作物的選擇和栽培次序的安排會因作物種類而異，必需經過研究試驗證明，才能確切瞭解前作與後作間的交互關係。

四、生物防治（Biological control）

生物防治是利用拮抗微生物來殺死病原菌，或對抗病原菌，或奪取病原菌的生存空間，以達到防治作物病害和增加作物生產的目的。應用微生物來防治作物病害，首先需要瞭解作物病害發生方式與特性。例如作物菌核病菌（*Sclerotinia sclerotiorum*），它會侵害作物地下之根莖等部位而造成植株萎凋枯死，或者侵害作物地上之莖、葉、花、果實等部位而造成花腐、果腐、莖枯和葉枯等現象。如果是防治由根部感染所引起的萎凋病時，例如向日葵萎凋病，就需要把超寄生真菌 C. minitans 施用於根部土壤才會達到防治效果（Huang, 1980; McLaren et al., 1994）。如果是由子囊孢子侵害作物地上部時，例如菜豆和豌豆菌核病，則需在植株上噴灑拮抗細菌（Huang et al. 1993）或超寄生真菌 *C. minitans*（Huang et al. 2000）才能有效防治。此外，利用 *C. minitans* 對菌核的寄生和殺傷能力也能夠控制土壤中菌核的存活數量並減少菌核病的發生（Huang and Kozub, 1991）。

生物防治是應用微生物間族群消長的原理。目前文獻的報導指出，即使用最具殺傷力的生物防治菌，包括 *C. minitans* 在內，也多無法把病原菌完全滅絕，而達到百分之百的治病效果。又環境的變化往往會影響生物防治菌的使用效果。所以瞭解病原菌與生物防治菌之生物特性與生態是生物防治技術研發成功的要件。

作物病害非農藥防治技術之研發瓶頸

前面所提的健康種子，抗病品種，輪作栽培和生物防治等四種病害非農藥防治技術在有機作物栽培中都會具有極大的應用價值。只是最近廿多年來，不論是政府或私立的研究機構，對作物病害防治技術的研發，大多數是屬於商業導向。因此對有些深具開發應用價值的技術研究卻往往因為缺乏商機而被忽畧或不予支持。例如輪作栽培的優越性遠超出連作（Huang et al., 2002），但是這方面研究是長期性，而且研究發現只有一般農民受益，無法專賣，因此沒有人願意投入這一類研究計劃。另一個例子是作物抗病育種，它的研究也是長期性的資金投入。 因此私立的研究機構也只願意投入後期工作如新抗病品種的推廣與應用，而不願意投入早期的基礎育種研究工作。由於私立機構的研究是屬於商業導向，它們可能對開發有市場潛能的計劃意願較高。例如研發種子病害快速檢測和生物防治劑等。因為政府的功能是服務社會大衆（包括農民），它的研究機構應該比較注重開發對大眾百姓有益的研究計畫（public good projects)。像輪作試驗、抗病育種等這些長期性的研究和長期性的投資，必需依賴政府的主導和支持，方能順利執行。

作物病害非農藥防治技術之應用

每一個作物病害防治技術的應用對控制標的病菌（target pathogens）與非標的生物（non-target organisms）都有可能產生正、反面的影響。並不是因為『非農藥防治技術』，就認為它是不使用化學農藥，所以必定安全可靠。因此開發每一種新的防治技術，除了要評估該技術的防治病害效果之外，還要探討該技術對農業生態及人畜安全等可能造成的正、負面影響。例如過去數十年來，有關作物病害生物防治的研究報告如雨後春筍，且有些方法也已進一步被開發成為生物防治劑的商業產品。值得注意的是，這些研究多只注重生物防治製劑對病害的防治效果，而往往忽略它們對生態環境可能產生的衝擊。茲以在加拿大一系列作物幼苗猝倒病（Pythium damping-off）生物防治研究為例，說明不同生物防治菌的防病效果以及其對農業生態的影響，祈以瞭解風險評估對開發生物防治產品的重要性。

一、作物幼苗猝倒病生物防治菌之優劣比較

世界各國很多農作物的幼苗猝倒病是由腐霉菌屬（*Pythium*）的真菌所引起。在土地狹小的臺灣就有 122 種植物遭受本病原菌危害的報導（Anoymous, 2002）。其中較常見的病原菌種類包括 *Pythium aphanidermatum*, *P. debaryanum*, *P. irregulare*, *P. myriotylum*, *P. spinosum*, *P. splendens* 以及 *P. ultimum*。受這種

病原菌危害的植物種類當中，很多是重要的經濟作物，包括田間栽種的糧食作物、蔬菜、果樹、花卉及溫室栽培的蔬菜和花卉等，因此本病在世界各地往往會造成重大的經濟損失。在加拿大田間調查報告顯示，幼苗猝倒病使油菜出苗率減低 99%（Harrison, 1989）及使紅花出苗率減低 82%（Howard et al., 1990）；有些溫室蔬菜的出苗率減低高達 95-100%（Paulitz et al., 2002），可見作物幼苗猝倒病只要遇到適當發病環境，就會大量發生，造成農民播種的心血完全白費。

在加拿大西部 Alberta 省，幼苗猝倒病菌危害豌豆、油菜、紅花及甜菜等作物，往往造成重大損失。因此選定這幾種作物來研究幼苗猝倒病的生物防治方法。首先是從全省各地分離、篩選的根圈微生物（rhizobacteria），以種子處理的方法測定其對幼苗猝倒病的防病效果。這些根圈細菌包括根瘤細菌 [（*Rhizobium leguminosarum* bv. *Viceae*（Bardin et al., 2004）] 和非根瘤細菌如 *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida*, *Bacillus cereus*, *Pantoea agglomerans*, *Erwinia rhapontici* 以及 *E. carotovora* 等（Liang et al., 1996; Bardin et al., 2003）。這些菌株不但在溫室和培養室環境下，防病效果良好，而且在自然病田裏的防病效果也很好。雖然這七種生物防治細菌對幼苗猝倒病菌都具有良好防治效果，但是它們之間對非標生物的影響，卻有很明顯的差異。因此必須進一步進行風險評估（risk assessment），才能確定那一個生物防治菌，在特定的農業生態環境最具有實際開發應用的價值。

二、作物幼苗猝倒病生物防治菌之風險評估

生物防治的風險評估，主要是調查該生物防治劑防治標的病原菌的效果外，亦追蹤其對同一生存生態環境中的他類物種是否也會造成直接或間接的不良影響。雖然風險評估的項目往往會因作物種類、栽培環境等有所差異。但一般需注意的基本要項是該生物防治劑（或生防菌）的防病功效,寄主範圍的廣泛或狹窄度,傳播途徑和傳播能力,以及對其他非標的物種（non-target species）的直接或間接影響等。這些評估資料可以用來決定一個特定生物防治劑（或生防菌）的風險指數（risk index）或生態良性指數（eco-friendly index），然後再以這種指數之高低來判斷該生物防治劑（或生防菌）的優劣與開發應用的價值。

茲以七種不同生物防治細菌做為種子處理劑防治作物幼苗猝倒病為例，比較它們之間的防病效果及其生態良性指數的差異。一般生態良性指數可分為下列四個等級：

第一級：生態良性指數最高，風險最低

豆科作物根瘤細菌 *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* 屬於這一級。這一

種根瘤細菌與豌豆屬（*Pisum*）、扁豆屬（*Lens*）、蠶豆屬（*Vicea*）及香豌豆屬（*Lathyrus*）等豆科植物共生；它不但具有防治豌豆及甜菜幼苗猝倒病的功效（Bardin et al., 2004），而且可固定空氣中的氮素，以增加土壤肥力（Brockwell et al., 1995; Bardin et al., 2004）。另外它對其他作物生長也沒有不良影響。因此這類固氮細菌的生態良性指數極高，且使用上的風險極低。

第二級：生態良性指數高，風險低

很多植物根圈細菌如 *Pseudomonas fluorescens*、*Pseudomonas putida* 、*Pantoea agglomerans* 等屬於這一級。這類細菌在土壤中很容易和幼苗猝倒病菌競爭，進而達到保護種子發芽和促進幼苗生長的功效（Liang et al., 1996; Bardin et al., 2003）。一般而言這類細菌的生態良性指數高，因此做為生物防治劑的風險也較低。但是有些醫學報告指出 *P. fluorescens*（Hsueh et al., 1998），*P. putida*（Macfarlane et al., 1991） 和 *P. agglomerans*（De Champs et al., 2000）會傷害人體。如果從這一方面考量，這些細菌的良性指數就比前面提到的根瘤細菌低一些。

第三級：生態良性指數低，風險高

有些根圈細菌如 *Erwinia rhapontici* 及 *Erwinia carotovara* 等屬於這一級。它們防治作物幼苗猝倒病雖然有良好效果（Liang et al., 1996; Bardin *et al*., 2003），但也會危害其他多種作物。例如用 *E. rhapontici* 處理種子雖然可以減輕紅花、油菜、豌豆、甜菜等作物的幼苗猝倒病（Liang et al., 1996: Bardin et al., 2003）和促進紅花、油菜和豌豆幼苗生長，但是它本身也是一種病原菌，可以造成豌豆（Huang et al., 1990）、菜豆（Huang et al., 2002a）、扁豆（Huang et al., 2003b）、硬粒小麥（McMullen et al., 1984）和普通小麥（Roberts, 1974）等作物的粉紅色種子病害（pink seed disease）以及其他作物的根冠腐爛病（Huang et al., 2003a）。田間試驗證明遭受 *E. rhapontici* 侵害的種子，出苗率明顯降低（Huang and Erickson, 2004）。又如 *Erwinia carotovora* 雖然具有防治幼苗猝倒病的效果（Liang et al., 1996），但它卻是引起多種蔬菜作物軟腐病的病原細菌（Conners, 1967）。所以應用這類細菌作為生物防治劑，對農業生產和農業生態的負面影響，遠超過它們防治某些作物病害的貢獻。

第四級：生態良性指數最低，風險最高

這類生物防治劑是屬於對環境、生態等會造成極大損害者。例如有些由外地引進的生物防治菌，如果沒有經過風險評估，就加以應用，往往有可能變成當地農作物的重要新病原菌，結果它不但沒有達到防治某一特定病害的目的，反而對其他農作物或農田微生物造成傷害，且在使用後往往變成一種無法收拾的外來入侵物種（invasive species）。因此引進外來的微生物來防治

本地病害，必須特別小心，尤其事先要瞭解或評估該生物防治菌的寄主範圍、生態適應性等，才能決定可否安全引進使用。

結 語

自從二次大戰以來，由於合成化學農藥與化學肥料的過度使用，造成環境污染以及影響人畜安全等問題。很多國家都競相研發少用化學農藥與善用有機肥料的新農業耕種技術，其中以提倡有機作物栽培最受關注。但是這種不使用化學農藥的作物栽培方法，往往無法解決病害猖獗的問題，因此必需開發作物病害非農藥防治技術以因應有機作物栽培的需求。本文所討論到的使用健康種子，抗病品種，輪作栽培和生物防治等都是屬於非農藥病害防治方法。雖然它們對有機農業會有貢獻，可是這些技術的研發和應用都可能有瓶頸問題，必需設法解決。例如良好的輪作栽培制度和高抗病性作物品種都是防治作物病害最佳手段，但是這些技術的開發時間長和費用高，因此必需仰賴政府研究機構的支持才能有效執行。

有些病害非農藥防治技術的研究可能會帶來商機，例如開發種子病害快速檢測技術和生物防治劑等。我國已經成為世界貿易組織（WTO）的一員，農產品的進出口貿易會更加頻繁，因此在防檢疫的工作，亟須研發精確而快速的檢測技術，如分子探針、選擇性培養基等等，才能滿足防檢疫人員進行快速檢測的需求。這種新檢驗技術的研究、開發與應用課題，給檢疫人員與研究人員帶來的不只是一種挑戰，而且也是一種機會。又開發每一種新技術都要進行風險評估才能決定該技術的應用潛能和開發價值。例如很多生物防治研究者，一旦發現某一微生物具有防治病害的效果，不經風險評估就急於將它大量生產和應用。這種研發態度與手段是相當危險的，因為開發一種新的生物防治劑，其繁雜與困難的程度可能不亞於開發一種新的化學農藥。顯然，有了健全的風險評估資料，可以提高廠商的信心與開發生物防治產品的意願。

誌 謝

黃鴻章現任行政院農委會農業試驗所生物技術組客座研究員，國科會補助計劃項目 NSC97-2811-B-055-001。

參考文獻

Acharya, S. N., and Huang, H. C. 2000. AC Longview alfalfa. Can. J. Plant Sci. 80:613-615.

Acharya, S. N., and Huang, H.C. 2003. Breeding alfalfa for resistance to verticillium wilt: A sound strategy. Pages 345-371 *in*: H. C. Huang and S. N. Acharya (eds.) Advances in Plant Disease Management. Research Signpost, Trivandrum, Kerala, India.

Acharya, S. N., Huang, H. C., and Hanna, M. R. 1995. Cultivar description: AC Blue J alfalfa. Can. J. Plant Sci. 75:469-471.

Agarwal, V. K., and Sinclair, J. B. (eds.). 1987a. Principles of Seed Pathology. Vol. I. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 176 p.

Agarwal, V. K., and Sinclair, J. B. (eds.). 1987b. Principles of Seed Pathology. Vol.II. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 168 p.

Anonymous. 1974. Pesticides in the modern world. Pages 48-51 *in*: A Symposium prepared by members of the Cooperative Programme of Agro-Allied Industries with FAO other United Nations Organizations 1972.

Anomyous. 2002. List of Plant Diseases in Taiwan, 4th Edition. Taiwan Phytopathological Society, Republic of China. 386 p.

Bardin, S. D., Huang, H. C., Liu, L., and Yanke, L. J. 2003. Control, by microbial seed treatment, of damping-off caused by *Pythium* sp. on canola, safflower, dry pea and sugar beet. Can. J. Plant Pathol. 25: 268-275.

Bardin, S. D., Huang, H. C., Pinto, J., Amundsen, E. J., and Erickson, R. S. 2004. Biological control of Pythium damping-off of pea and sugar beet by *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae*. Can. J. Bot. 82: 291-296.

Bengtsson, J., Ahnström, J. and Weibull, A. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. J.Appl. Ecol. 42(2):261–269.

Biederbeck, V. O., Campbell, C. A., Rasiah, V., Zentner, R. P. and Wen, G. 1998.
Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manure. Soil Biology and Biochemistry 30: 1177-1185.

Brockwell, J., Bottomly, P. J., and Thies, J. E. 1995. Manipulation of rhizobia microflora for improving legumes productivity and soil fertility: a critical assessment. Plant and Soil 174: 143-180.

Campbell, C. A., Zentner, R. P., Selles, F., Biederbeck, V. O. and Leyshon, A.

J. 1992. Comparative effects of grain lentil-wheat and wheat monoculture on crop production, N economy and N fertility in a Brown Chernozem. Can. J. Plant Sci. 72: 1091-1107.

Christen, A.A. 1982. A selective medium for isolation of *Verticillium albo-atrum* from soil. Phytopathology 72:47-49.

Conners, I. L. (compiler). 1967. An Annotated Index of Plant Diseases in Canada. Canadien Department of Agricuture. Publication No. 1251. Ottawa, Canada. 381 pp.

De Champs, C., Le Seaux, S., and Dubost, J. J., 2000. Isolation of *Pantoea agglomerans* after plant thorn and wood sliver injuries. J. Clinic Microbiol. 38:460-461.

FAO. 2002. Organic Agriculture, Environment and Food Security, FAO, Rome, Italy.

Graham, J. H., Peaden, R. N., and Evans, D. W. 1977. Verticillium wilt of alfalfa found in the United States. Plant Dis. Rept, 61:337-340. Harrison, L. M. 1989. Canola disease survey in the Peace River region in 1988. Can. Plant Dis. Surv. 69: 59.

Hanna, M. R., and Huang, H. C. 1987. 'Barrier' alfalfa. Can. J. Plant Sci. 67:827-830.

Heale, J. B., Isaac, I., and Milton, J. M. 1979. The administrative control of verticillium wilt of lucerne. Pages 71-78 *in:* Ebbels, D. L., and King, J. E. (eds.). Plant Health: The Scientific Basis for Administrative Control of Plant Diseases. Blackwell Scientific Publications Ltd., Oxford.

Howard, R. J., Moskaluk, E. R., and Sims, S. M. 1990. Survey for seedling blight of safflower. Can. Plant Dis. Surv. 70: 82.

Hsueh, P. R., Teng, L. J., Pan, H. J., Chen, Y. C., Sun, C. C., Ho, S. W., and Luh, K. T. 1998. Outbreak of *Pseudomonas fluorescens* bacteremia among oncology patients. J. Clinic Microbiol. 36:2914-2917.

Huang, H. C. 1980. Control of Sclerotinia wilt of sunflower by hyperparasites. Can. J. Plant Pathol. 2: 26-32.

Huang, H. C. 2003. Verticillium wilt of alfalfa: Epidemiology and control strategies. Can. J. Plant Pathol. 25:328-338.

Huang, H. C., and Erickson, R. S. 2004. Impact of pink seed of pea caused by *Erwinia rhapontici*. Plant Pathol. Bull. 13: 177-184.

Huang, H. C., and Kozub, G. C. 1991. Monocropping to sunflower and decline of sclerotinia wilt. Bot. Bull. Acad. Sinica 32:163-170.

Huang, H. C., Phillippe, L.M., Marshall, H. H., Collicutt, L.M., and Neish, G.A.1992. Wilt of hardy chrysanthemum caused by a new race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *chrysanthemi*. Plant Pathol. Bull. 1:57-61.

Huang, H. C., Kokko, E. G., Yanke, L. J., and Phillippe, R. C. 1993. Bacterial suppression of basal pod rot and end rot of dry peas caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. Can. J. Microbiol. 39: 227-233.

Huang, H. C., Acharya, S. N., Hanna, M. R., Kozub, G. C., and Smith, E. G. 1994. Effect of verticillium wilt on forage yield of alfalfa grown in southern Alberta. Plant Dis. 78:1181-1184.

Huang, H. C., Bremer, E., Hynes, R. K., and Erickson, R. S. 2000. Foliar application of fungal biocontrol agents for the control of white mold of dry bean caused by *Sclerotinia slcerotiorum*. Biol. Cont. 18: 270-276.

Huang, H. C., Kodama, F., Akashi, K., and Konno, K. 2002. Impact of crop rotation on soilborne diseases of kidney bean: A case study in northern Japan. Plant pathol. Bull. 11: 87-96.

Huang, H. C., Hsieh, T. F. and Erickson, R. S. 2003. Biology and epidemiology of *Erwinia rhapontici*, causal agent of pink seed and crown rot of plants. Plant Pathol. Bull. 12:69-76.

Huang, H. C., Phillippe, L. M., and Phillppe, R. C. 1990. Pink seed of pea; A new disease caused by *Erwinia rhapontici*. Can. J. Plant Pathol. 12: 445-448.

Huang, H. C., Erickson, R. S., Yanke, L. J., Mundel, H. H., and Hsieh, T. F. 2002a. First report of pink seed of common bean caused by *Erwinia rhapontici*. Plant Dis. 86: 921.

Huang, H. C., Kodama, F., Akashi, K., and Konno, K. 2002b. Impact of crop rotation on soilborne diseases of kidney bean: A case study in northern Japan. Plant Pathol. Bull. 11: 87-96.

Huang, H. C., Hsieh, T. F., and Erickson, R. S. 2003a. Biology and

epidemiology
of *Erwinia rhapontici*, causal agent of pink seed and crown rot of plants. Plant Pathol. Bull. 12: 69-76.

Huang, H. C., Erickson, R. S., Yanke, L. J., Hsieh, T. F., and Morrall, R. A. 2003b. First report of pink seed of lentil and chickpea caused by *Erwinia rhapontici* in Canada. Plant Dis. 87: 1398.

Karvonen, T. 1993. Tactical management in cold climates. Pages 163-170 *in:* International Crop Science I. Buxton, D. R., Shibles, R., Forsberg, R. A., Blad, B. L., Asay, K. H., Paulsen, G. M., and Wilson, R. F. (eds.). Crop Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Liang, X. Y., Huang, H. C., Yanke, L. J., and Kozub, G. C. 1996. Control of damping-off of safflower by bacterial seed treatment. Can. J. Plant Pathol.18: 43-49.

Lotter, D. 2003. Organic agriculture. J. Sustain. Agr. 21(4): 59–128.

Macfarlane, L., Oppenhein, B. A., and Lorrigan, P. 1991. Septicaemia and septic arthritis due to *Pseudomonas putida* in a neutropenic patient. J. Infect. 23:346-347.

Mäder, -P., Fliebach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P. and Niggli, U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science 296 (5573):1694–1697.

McLaren, D. L., Huang, H. C., Kozub, G. C., and Rimmer, S. R. 1994. Biological control of Sclerotinia wilt of sunflower by *Talaromyces flavus* and *Coniothyrium minitans*. Plant Dis. 78: 231-235.

McMullen, M. P., Stack, R. W., Miller, J. D., Bromel, M. C., and Youngs, V. L. 1984. *Erwinia rhapontici*, a bacterium causing pink wheat kernels. Proc. North Dakota Acad. Sci. 38:78.

O'Riordan, T. and Cobb, D. 2001. Assessing the consequences of converting to organic agriculture, J. Agr. Economics 52(1):22–35.

Paulitz, T. C., Huang, H. C., and Gracia-Garza, J. A. 2002. *Pythium* spp., Damping-off, Root and Crown Rot (Pythiaceae). Pages 478-483 *in*:
Biological Control Programmes in Canada 1981-2000. P. G. mason, and J. T. Huber (eds). CAB International, Wallingford, UK. 583 pp.

Reganold, J. P., Glover, J. D., Andrews, P. K. and Hinman, H.R. 2001. Sustainability of Three Apple Production Systems. Nature 410(6831): 926–930.

Roberts, P. 1974. *Erwinia rhapontici* (Millard) Burkholder associated with pink grain of wheat. J. Apply Bacteriol. 37: 353-358.

Sato, R. 1994. Outbreak of alfalfa Verticillium wilt in Hokkaido. Japan Agr. Res. Quart. 28:44-51.

Smith, E. G., Acharya, S. N., and Huang, H. C. 1995. Economics of growing verticillium wilt-resistant and adapted alfalfa cultivars in western Canada. Agron. J. 87:1206-1210.

Trewavas, A. 2001. Urban myths of organic farming. Nature 410 (6827) :409–410.

Wheeler, S. A. 2008. What influence agricultural professionals' views towards organic agriculture? Ecol. Economics 64(1): 145-154.

Wright, A. T. 1990. Yield effect of pulses on subsequent cereal crops in the northern prairies. Can. J. Plant Sci. 70: 1023-1032.

Zadoks, J. C. 1993. Antipodes on crop protection in sustainable agriculture. p. 3-12 *in*: Pest Control and Sustainable Agriculture. S. Corey, D. Dall, and W. Milne (eds.) Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia.

Development and Application of Non-chemical Methods for Management of Crop Diseases

Hung-Chang Huang and Min-Tze Wu

Agricultural Research Institute
Council of Agriculture, Wufeng, Taichung, Taiwan, R.O.C

Abstract

Due to environmental concerns, the use of non-chemical methods for control of crop diseases has become a norm for agricultural practice in the 21st century. Organic farming is considered a viable alternative to conventional agriculture as it restricts the use of chemical pesticides and chemical fertilizers for crop production. Non-chemical methods for control of crop diseases such as pathogen-free seeds, disease resistance, crop rotation and biological control are of great potential for application in organic farming systems. However, bottle necks exist in the development and application of these technologies. For example, crop rotation is a good disease control strategy but there are no incentives to invest in this type of long-term research by government institutes or private agencies. Although research on biological control of plant diseases has been active over five decades, there are still very few examples on commercialization and practical application of these technologies. This review focused the discussion on prospect and potential of these non-chemical control technologies for organic farming, with special emphasis on problems associated with the development and application of these technologies.